



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

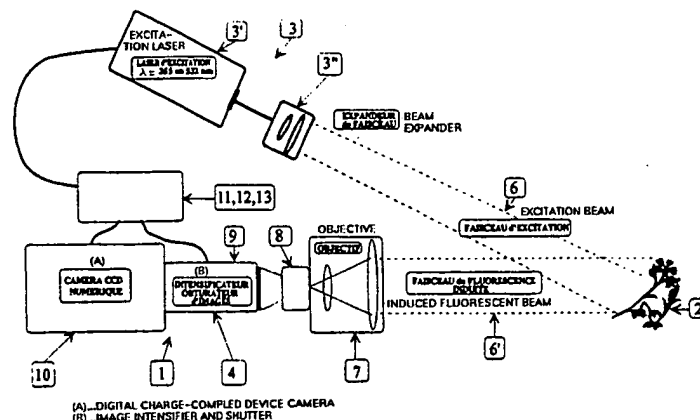
(51) Classification internationale des brevets ⁶ : G01N 21/64	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 99/32876 (43) Date de publication internationale: 1er juillet 1999 (01.07.99)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02811</p> <p>(22) Date de dépôt international: 21 décembre 1998 (21.12.98)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 90186 22 décembre 1997 (22.12.97) LU</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): COM-MUNAUTÉ EUROPÉENNE [-/LU]; Bâtiment Euroforum, Plateau du Kirchberg, L-2920 Luxembourg (LU).</p> <p>(72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): LUCIA, Alfredo [IT/IT]; Via Marconi, 14, I-21020 Osmate (IT). HEISEL, Francine [FR/FR]; 26, rue du Champ des Manoeuvres, F-67200 Strasbourg (FR). MARTZ, Alphonse [FR/FR]; 7, rue du Limousin, F-67840 Kilstett (FR). MIEHE, Joseph-Albert [FR/FR]; 9, rue Curie, F-67200 Strasbourg (FR). OBERLIN, Jean-Pierre [FR/FR]; 219, rue Ehrenweg, F-57820 Garrebouurg (FR). SOWINSKA, Malgorzata [FR/FR]; 3, rue Albert Schweitzer, F-67117 Ittenheim (FR). ZURN, Martin [DE/IT]; Via Fermi, I-21020 Ispra (IT).</p> <p>(74) Mandataire: CABINET NUSS; 10, rue Jacques Kablé, F-67080 Strasbourg Cedex (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: CA, JP, NO, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale. Avec revendications modifiées.</p>

(54) Title: ANALYSING DEVICE NON-DESTRUCTIVE OF PLANTS AND VEHICLE COMPRISING SUCH DEVICE ON BOARD

(54) Titre: DISPOSITIF D'ANALYSE NON DESTRUCTIVE DE PLANTES ET VEHICULE COMPORTANT UN TEL DISPOSITIF EMBARQUE

(57) Abstract

The invention concerns an analysing device non-destructive of plants and a vehicle comprising such device on board. Said device comprises a unit (3) transmitting a calibrated excitation laser beam (6), a unit (4) measuring and imaging the fluorescence emitted by the irradiated plant(s) (2) and a unit for digitally processing, storing and editing or displaying the collected images, associated with a computer unit controlling and managing the device operation. The invention is characterised in that the transmitting unit (3) provides at least two laser excitation wavelengths and the measuring and imaging unit (4) comprises means (7, 8, 9) for forming, from a common fluorescence beam (6') emitted by the plant(s), simultaneously or successively, at least two secondary beams, each having its own wavelength and each constituting a fluorescence image at a matrix sensor (10), over the whole surface thereof or over part of the surface thereof, each image being separate for



each image being separate for

- 1 -

Dispositif d'analyse non destructive de plantes
et véhicule comportant un tel dispositif embarqué

La présente invention concerne le domaine de l'étude de la végétation, plus particulièrement des plantes, dans le domaine forestier et de l'agriculture, et a pour objet un dispositif d'analyse non destructive de plantes, ainsi qu'un véhicule d'analyse comportant un tel dispositif embarqué.

5 En vue d'optimiser l'exploitation des surfaces agricoles et forestières, il est primordial de pouvoir déterminer les facteurs limitatifs de la croissance des plantes et de détecter le plus tôt possible l'apparition de facteurs nuisibles.

 Ainsi, en vue d'étudier et de quantifier l'influence de carences, de stress hydriques ou de maladies d'origine parasitaire sur la végétation, divers types
10 d'analyses sont actuellement connus et généralement effectués en laboratoire après prélèvement d'échantillons sur les plantes à étudier.

 Toutefois, ces analyses hors limites ne permettent pas de prendre en compte l'environnement de la plante concernée, nécessitent des prélèvements et des conditionnements complexes et fastidieux, n'autorisent l'étude que de certaines
15 parties de plante (pour des plantes de grande taille) ou de certaines plantes périphériques d'un champ, peuvent aboutir à la destruction de la plante concernée et ne fournissent pas de résultats immédiats in situ susceptibles d'orienter, sur place, les analyses ultérieures par la sélection de certaines plantes ou parties de plantes, en fonction des résultats antérieurs.

20 Le besoin d'une analyse non destructive, effectuée à distance et opérée sur les plantes telles qu'elles se présentent dans leurs milieux naturels (alimentation exposition au vent et au soleil, orientation et analogues), se fait sentir depuis de nombreuses années.

 Par ailleurs, on connaît le principe de la mesure par fluorescence qui
25 consiste à acquérir de façon optique l'image de la fluorescence de la végétation, notamment des feuilles, induite par une excitation lumineuse brève, provenant d'un faisceau laser projeté sur cette dernière.

 Il existe déjà à ce jour quelques dispositifs qui permettent d'effectuer des mesures pour extraire des informations par la méthode de la fluorescence
30 induite dans la végétation.

 Ainsi, on connaît par exemple :

- par le document "Plant Efficiency Analyser" de HANSATECH, le principe général de la mesure par fluorescence sur des plantes, ainsi que les résultats qui peuvent en être retirés. De plus, ce document présente un appareil

- 3 -

deux longueurs d'ondes d'excitation laser et en ce que l'unité de mesure et de prise d'images comporte des moyens pour former, à partir d'un même faisceau de fluorescence émis par la ou les plante(s), simultanément ou successivement, au moins deux faisceaux secondaires, ayant chacun une longueur d'onde propre et

5 constituant chacun une image de fluorescence au niveau d'un capteur matriciel, sur la totalité de la surface de ce dernier (acquisition successive d'images) ou sur une partie de la surface de ce dernier, distincte pour chaque faisceau secondaire (acquisition simultanée d'images).

L'invention a également pour objet un véhicule d'analyse in situ de

10 plantes et, plus généralement de végétaux, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un dispositif d'analyse tel que mentionné ci-dessus, monté de manière orientable et inclinable sur une potence télescopique.

L'invention sera mieux comprise, grâce à la description ci-après, qui se rapporte à un mode de réalisation préféré, donné à titre d'exemple non limitatif,

15 et expliqué avec référence aux dessins schématiques annexés, dans lesquels :

la figure 1 est une vue schématique d'un dispositif d'analyse selon l'invention ;

la figure 2 est une vue schématique de la boucle de synchronisation faisant partie du dispositif représenté à la figure 1 ;

20 la figure 3 est une vue schématique montrant les différents éléments constitutifs du dispositif selon l'invention ;

les figures 4A et 4B sont des vues en élévation latérale d'un véhicule d'analyse selon l'invention, avec le dispositif d'analyse respectivement dans une position d'analyse externe et dans une position d'analyse d'un échantillon à

25 l'intérieur du véhicule faisant également partie de l'invention ;

les figures 5 à 11 représentent des images obtenues au moyen du dispositif d'analyse selon l'invention par fluorescence induite dans des parties de plantes, et,

les figures 12 à 14 représentent des exemples d'organigrammes d'algorithmes d'exécution de certaines fonctions du dispositif d'analyse selon l'invention.

30

Comme le montrent les figures 1 et 3 des dessins annexés, le dispositif d'analyse non destructive de plantes, et plus généralement de végétaux, par mesure de la fluorescence induite sous excitation laser, comprend une unité

35 d'émission 3 d'un faisceau d'excitation laser 6 calibré, une unité 4 de mesure et de prise d'images de la fluorescence émise par la ou les plante(s) 2 irradiée(s) et une unité de traitement numérique, de stockage et d'édition ou de visualisation des

- 5 -

et 740 nm (F690 et F740), le faisceau 6 du laser d'excitation émettant avantagement dans l'ultraviolet préférentiellement de 380 nm à 390 nm, et dans le vert, préférentiellement de 560 nm à 600 nm.

5 L'excitation dans le vert permettra, d'une part, une plus grande profondeur de pénétration et, d'autre part, une excitation plus directe de la chlorophylle, alors que l'excitation bleue fournira non seulement des informations sur la fluorescence bleue et verte mais également sur l'efficacité de transfert de l'énergie vers les chloroplastes.

10 En vue d'améliorer le rapport signal fluorescent efficace / bruit de lumière ambiante, il est prévu que les durées des séquences d'ouverture de l'ensemble 9 [obturateur / intensificateur de lumière] faisant partie de l'unité 4 de mesure et de prise d'images et les durées des impulsions laser de l'unité 3 d'émission soient corrélées entre elles et que les fonctionnements du capteur matriciel 10, du dispositif laser 3' de l'unité d'émission 3 et de l'ensemble 9
15 obturateur / intensificateur de lumière soient synchronisés entre eux par l'intermédiaire d'un circuit d'asservissement en boucle correspondant.

Cette disposition permet de s'affranchir des perturbations électromagnétiques induites habituellement au niveau des capteurs matriciels optiques 10 de type à CCD (circuit à couplage de charges) par les fronts de
20 commutation des impulsions de tension commandant le tube intensificateur de lumière adjacent auxdits capteurs.

A titre d'exemple, le temps d'ouverture de l'ensemble obturateur / intensificateur de lumière peut être avantagement d'environ 30 nanosecondes pour une largeur à mi-hauteur des impulsions laser de 10 nanosecondes.

25 Comme le montre la figure 2 des dessins annexés, le circuit de synchronisation ou d'asservissement en boucle est constitué, d'une part, par un générateur de signaux en salves 11, déclenché par la caméra à CCD formant le capteur matriciel 10 et contrôlé par l'unité informatique de commande et de gestion, d'autre part, par une ligne à retard 12 réglable assurant la transmission
30 desdits signaux en salves, notamment vers l'entrée de déclenchement du dispositif laser 3' et, enfin, un module 13 de déclenchement de l'ensemble 9 [obturateur / intensificateur de lumière], recevant les signaux en salves transmis par la ligne à retard 12 avec un décalage temporel déterminé par rapport au dispositif laser 3', ledit décalage étant fonction de la distance entre le dispositif 1 et la ou les
35 plante(s) ou zone de végétation à analyser, éventuellement mesurée à l'aide d'un télémètre.

- 7 -

illustre la séquence de paramétrage pour l'initialisation physique et le réglage du dispositif d'analyse 1.

La présente invention a également pour objet un véhicule d'analyse in situ de plantes et, plus généralement de végétaux, caractérisé en ce qu'il
5 comporte au moins un dispositif d'analyse tel que décrit ci-dessus, monté de manière orientable et inclinable sur une potence télescopique 15 (figures 4A et 4B).

L'implantation du dispositif d'analyse 1 sur un véhicule 14 le rend mobile et transportable. L'espace intérieur de ce véhicule laboratoire 14 est
10 avantageusement divisé en deux compartiments, dont l'un est réservé à l'opérateur et à l'unité de traitement numérique, de stockage et d'édition et/ou de visualisation d'images associée à l'unité informatique de commande et de gestion et dont l'autre est aménagé pour le rangement de l'équipement de mesure (mesures intérieures et transport).

15 Un groupe électrogène mobile, également transporté par le véhicule 14, est disposé à même le sol pendant les mesures et assure les besoins en énergie électrique de l'ensemble du dispositif d'analyse 1.

En outre, des vérins de stabilisation 16 pourront assurer le calage du véhicule 14 pendant les opérations de mesure.

20 Les différents éléments composant l'unité d'émission 3 (dispositif laser 3', agrandisseur de faisceau 3'') et l'unité de mesure et de prise d'images 4 (objectif 7, éventuel diviseur de faisceau, filtres interférentiels 8, ensemble 9 [obturateur / intensificateur de lumière], caméra à CCD 10) sont préférentiellement de faible taille et aptes à résister sans dommage à de fortes
25 accélérations.

De plus, lesdites composantes de l'unité d'émission 3 et de l'unité 4 de mesure et de prise d'images sont montées sur une plate-forme support ou nacelle 17 orientable, en formant deux ensembles structurels parallèles en lignes situés dans une enceinte climatisée 18.

30 Cette dernière est pourvue sur sa face avant d'une fenêtre d'entrée et est munie d'un cordon de raccordement au véhicule 14 pour la circulation de fluides et d'énergie électrique vers la nacelle 17, le pompage du laser par fibre optique et le transfert en retour des informations de positionnement et des images numériques recueillies par la caméra CCD 10.

35 La taille du faisceau d'excitation laser 6 peut être augmentée par un agrandisseur de faisceau 3" prévu, par exemple, pour couvrir un cercle de diamètre 0,30 m à une distance de 30 mètres. La caméra CCD 10 ainsi que le dispositif

- 9 -

La figure 6 représente des images de fluorescence obtenues à partir d'une feuille de *Digitalis Purpurea*, soumise à un traitement par herbicide (DCMU : 3 - (3,4 Dichlorophényl - 1,1 - diméthylurea) par voie racinaire.

Les quatre images de cette figure ont été recueillies à une longueur d'onde de 690 nm sous une excitation laser à 355 nm et à différents intervalles de temps après arrosage de la plante avec une solution de DCMU diluée (10^{-5} M).

On observe très nettement sur ces images, les différents stades de la diffusion par les nervures de la solution de DCMU sur toute la surface de la feuille en fonction du temps écoulé.

La figure 7 représente des images obtenues en faisant le rapport pixel à pixel de deux images de fluorescence à partir de feuilles de maïs, respectivement, en bonne santé (références), carencée en fer et carencée en zinc.

Ces images ont été obtenues aux longueurs d'onde indiquées et sous excitation laser à 355 nm.

On remarque sur la feuille de maïs carencée en fer des striures parallèles à la nervure centrale et sur la feuille carencée en zinc des taches larges sans striures apparentes, alors que l'image rapport de la feuille saine ne présente aucune hétérogénéité apparente.

On notera également qu'à l'oeil nu des striures sont apparentes sur les feuilles saines et carencées et ne permettent pas, par conséquent, de caractériser ces dernières.

La figure 8 représente des images de fluorescence obtenues à partir de feuilles de vignes, respectivement saine, carencée en potassium, carencée en magnésium et atteinte d'une chlorose calcaire.

Ces images ont été recueillies à 690 nm, sous une excitation laser à 532 nm.

Il ressort d'une observation de ces images que la carence en potassium peut être caractérisée par l'apparition de taches de fluorescence très irrégulières et de différentes intensités et que la carence en magnésium peut être caractérisée par une fluorescence plus importante au niveau du centre de la feuille et diminuant rapidement en intensité vers le bord de cette dernière.

On note également que dans le cas de chlorose calcaire les nervures sont très fluorescentes par rapport au reste de la feuille.

La figure 9 représente des images de fluorescence obtenues à partir de feuilles de tabac, respectivement, en bonne santé et présentant un stress hydrique.

- 11 -

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'analyse non destructive de plantes, et plus généralement de végétaux, par mesure de la fluorescence induite sous excitation laser, comprenant une unité d'émission d'un faisceau d'excitation laser calibré, une unité de mesure et de prise d'images de la fluorescence émise par la ou les plante(s) irradiée(s) et une unité de traitement numérique, de stockage et d'édition ou de visualisation des images recueillies, associée à une unité informatique de commande et de gestion du fonctionnement du dispositif, caractérisé en ce que l'unité d'émission (3) fournit au moins deux longueurs d'ondes d'excitation laser et en ce que l'unité (4) de mesure et de prise d'images comporte des moyens (7, 8, 9) pour former, à partir d'un même faisceau de fluorescence (6') émis par la ou les plante(s) (2), simultanément ou successivement, au moins deux faisceaux secondaires, ayant chacun une longueur d'onde propre et constituant chacun une image de fluorescence au niveau d'un capteur matriciel (10), sur la totalité de la surface de ce dernier ou sur une partie de la surface de ce dernier, distincte pour chaque faisceau secondaire.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen (8) comprend plusieurs filtres interférentiels montés sur un porte-filtre en forme de disque dont le mouvement en rotation motorisé, contrôlé par l'unité informatique de commande et de gestion, amène lesdits filtres dans le trajet lumineux du faisceau de fluorescence (6').

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen (8) comprend des éléments pour diviser le faisceau de fluorescence (6') en au moins deux, préférentiellement quatre, faisceaux secondaires de longueurs d'onde distinctes dont chacun est dirigé vers une zone du capteur matriciel (10) qui lui est spécialement affectée.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les durées des séquences d'ouverture de l'ensemble (9) obturateur / intensificateur de lumière faisant partie de l'unité (4) de mesure et de prise d'images et les durées des impulsions laser de l'unité (3) d'émission sont corrélées entre elles et en ce que les fonctionnements du capteur matriciel (10), du dispositif laser (3') de l'unité d'émission (3) et de l'ensemble (9) obturateur / intensificateur de lumière sont synchronisés entre eux par l'intermédiaire d'un circuit d'asservissement en boucle correspondant.

REVENDEICATIONS MODIFIEES

[reçues par le Bureau international le 31 mai 1999 (31.05.99);
revendication 1 modifiée; autres revendications inchangées (2 pages)]

1. Dispositif d'analyse non destructive de plantes, et plus généralement de végétaux, par mesure de la fluorescence induite sous excitation laser, comprenant une unité d'émission d'un faisceau d'excitation laser calibré, une unité de mesure et de prise d'images de la fluorescence émise par la ou les
5 plante(s) irradiée(s) et une unité de traitement numérique, de stockage et d'édition ou de visualisation des images recueillies, associée à une unité informatique de commande et de gestion du fonctionnement du dispositif, caractérisé en ce que l'unité d'émission (3) fournit au moins deux longueurs d'ondes d'excitation laser, notamment dans l'ultraviolet et le vert, et en ce que l'unité (4) de mesure et de
10 prise d'images comporte des moyens (7, 8, 9) pour former, à partir d'un même faisceau de fluorescence (6') émis par la ou les plante(s) (2), simultanément ou successivement, au moins deux faisceaux secondaires, ayant chacun une longueur d'onde propre et constituant chacun une image de fluorescence au niveau d'un capteur matriciel (10), sur la totalité de la surface de ce dernier ou sur une partie
15 de la surface de ce dernier, distincte pour chaque faisceau secondaire.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen (8) comprend plusieurs filtres interférentiels montés sur un porte-filtre en forme de disque dont le mouvement en rotation motorisé, contrôlé par l'unité informatique de commande et de gestion, amène lesdits filtres dans le trajet lumineux du
20 faisceau de fluorescence (6').

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le moyen (8) comprend des éléments pour diviser le faisceau de fluorescence (6') en au moins deux, préférentiellement quatre, faisceaux secondaires de longueurs d'onde distinctes dont chacun est dirigé vers une zone du capteur matriciel (10) qui lui est
25 spécialement affectée.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les durées des séquences d'ouverture de l'ensemble (9) obturateur / intensificateur de lumière faisant partie de l'unité (4) de mesure et de prise d'images et les durées des impulsions laser de l'unité (3) d'émission sont
30 corrélées entre elles et en ce que les fonctionnements du capteur matriciel (10), du dispositif laser (3') de l'unité d'émission (3) et de l'ensemble (9) obturateur / intensificateur de lumière sont synchronisés entre eux par l'intermédiaire d'un circuit d'asservissement en boucle correspondant.

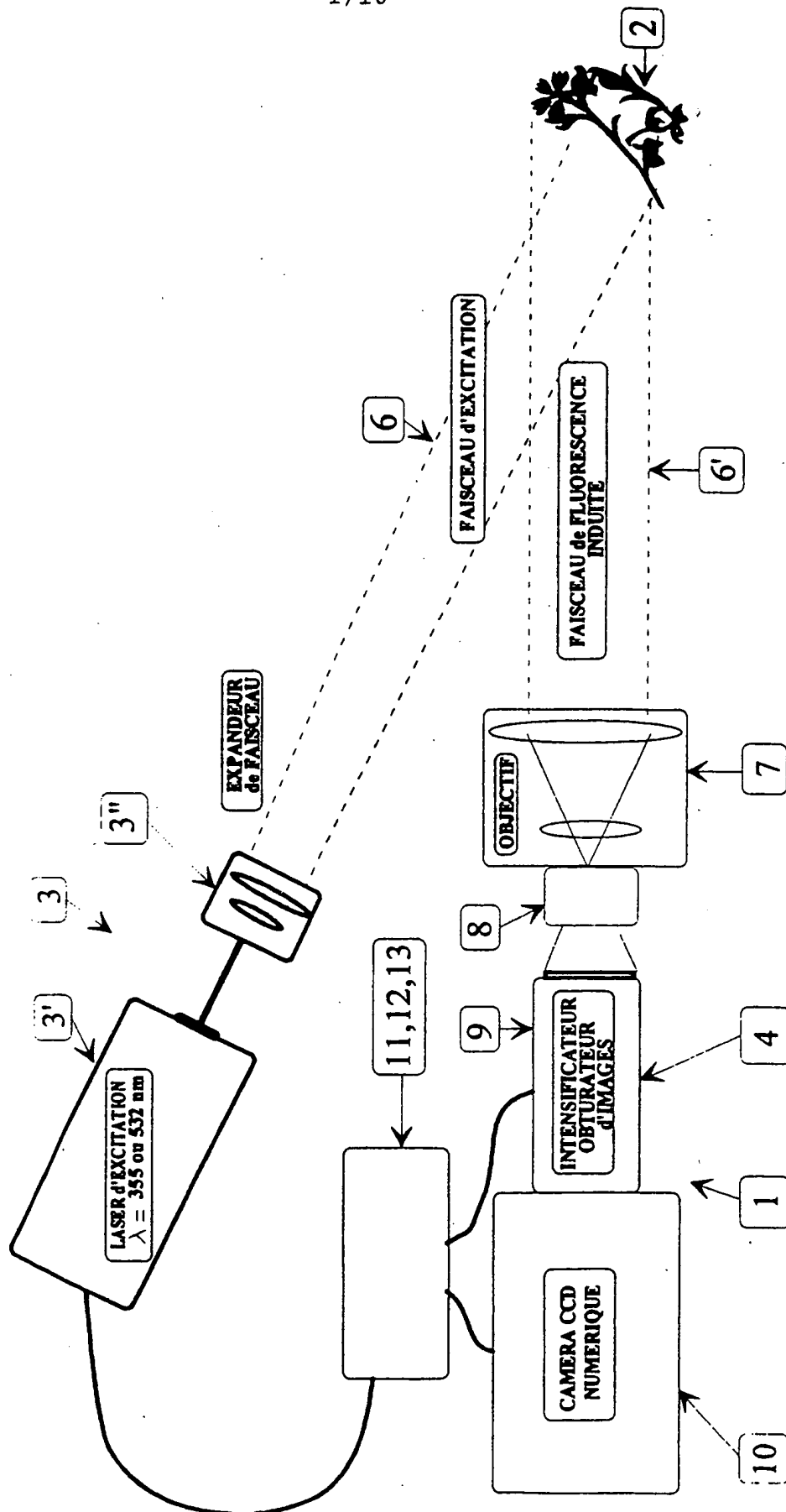


Fig. 4

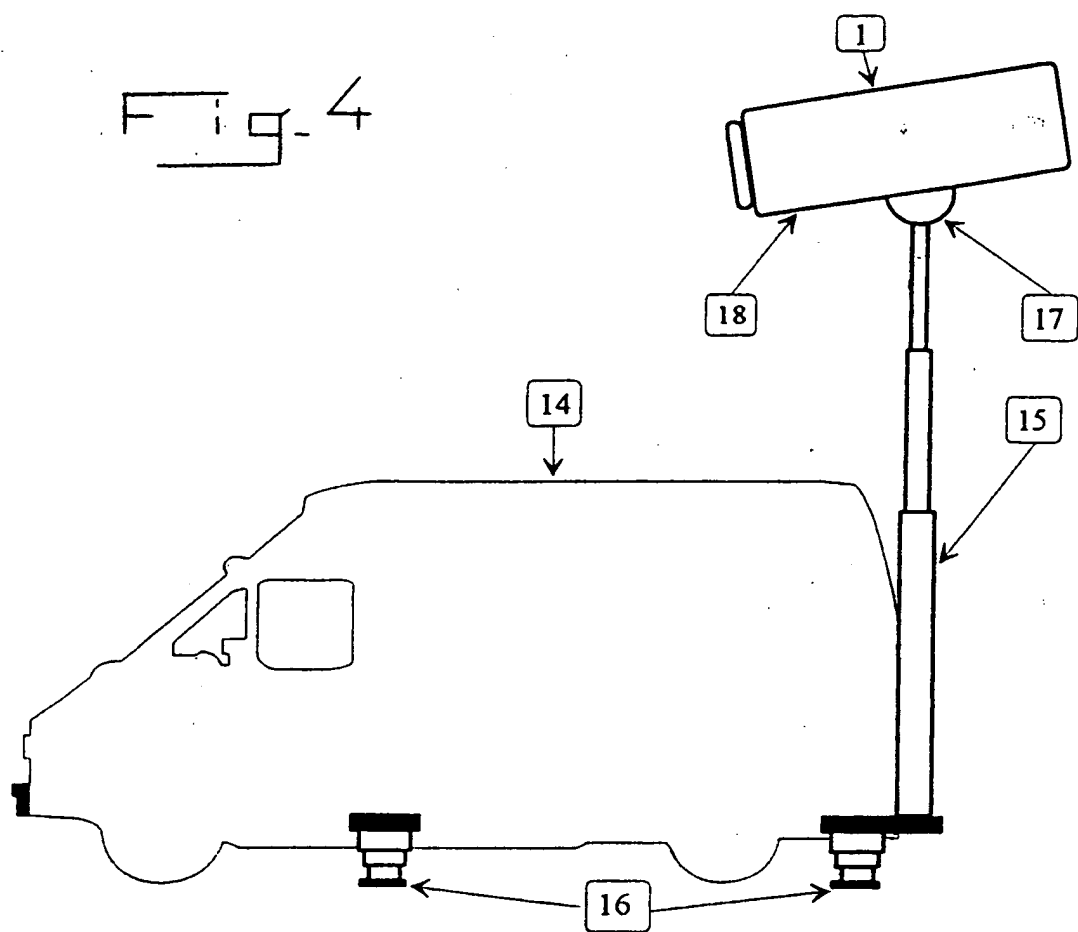


Fig. 4 A

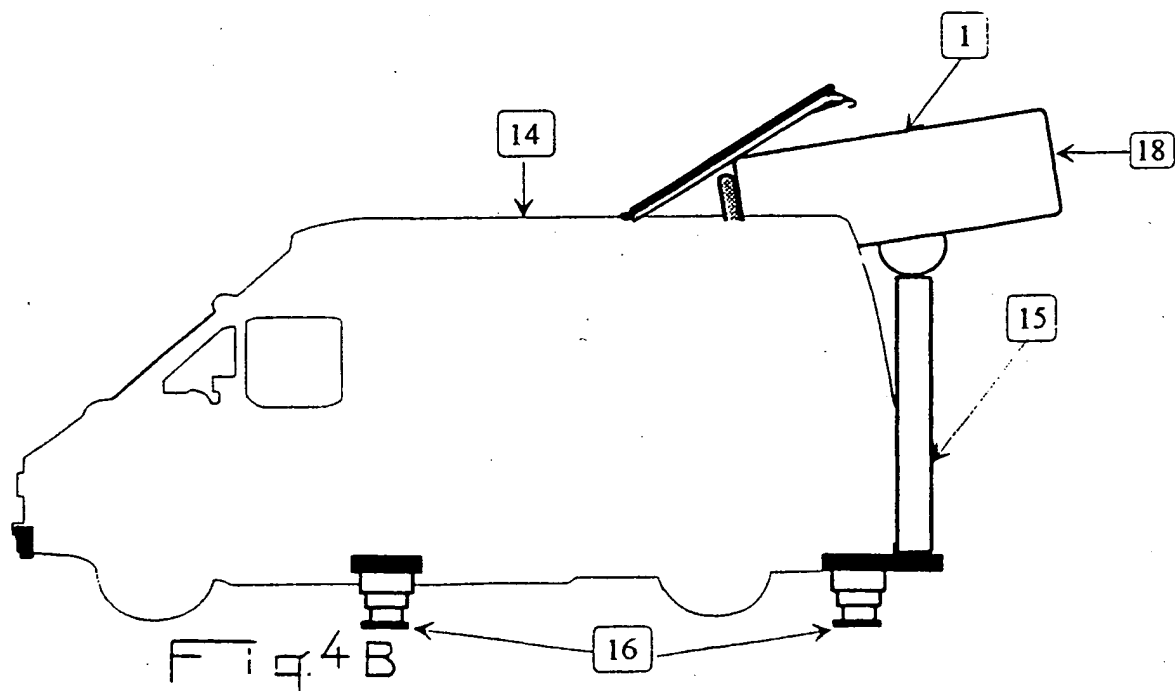


Fig. 4 B

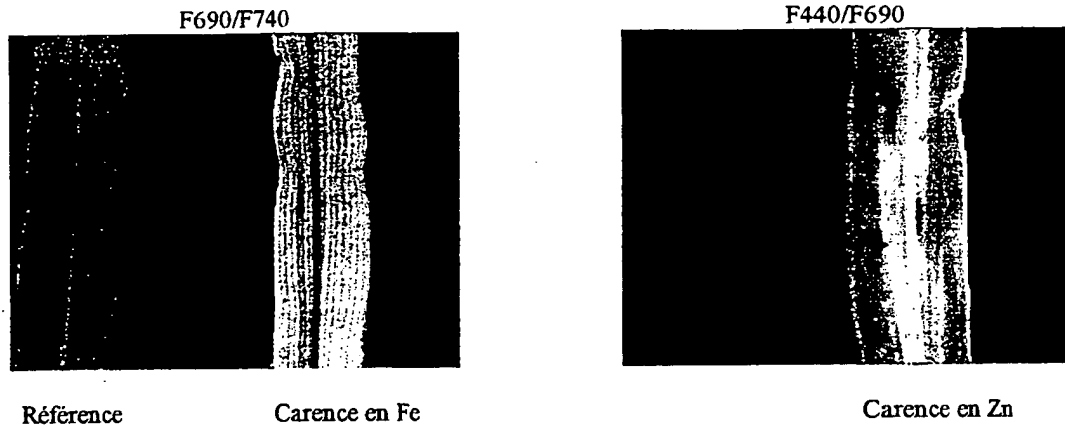


Fig. 7

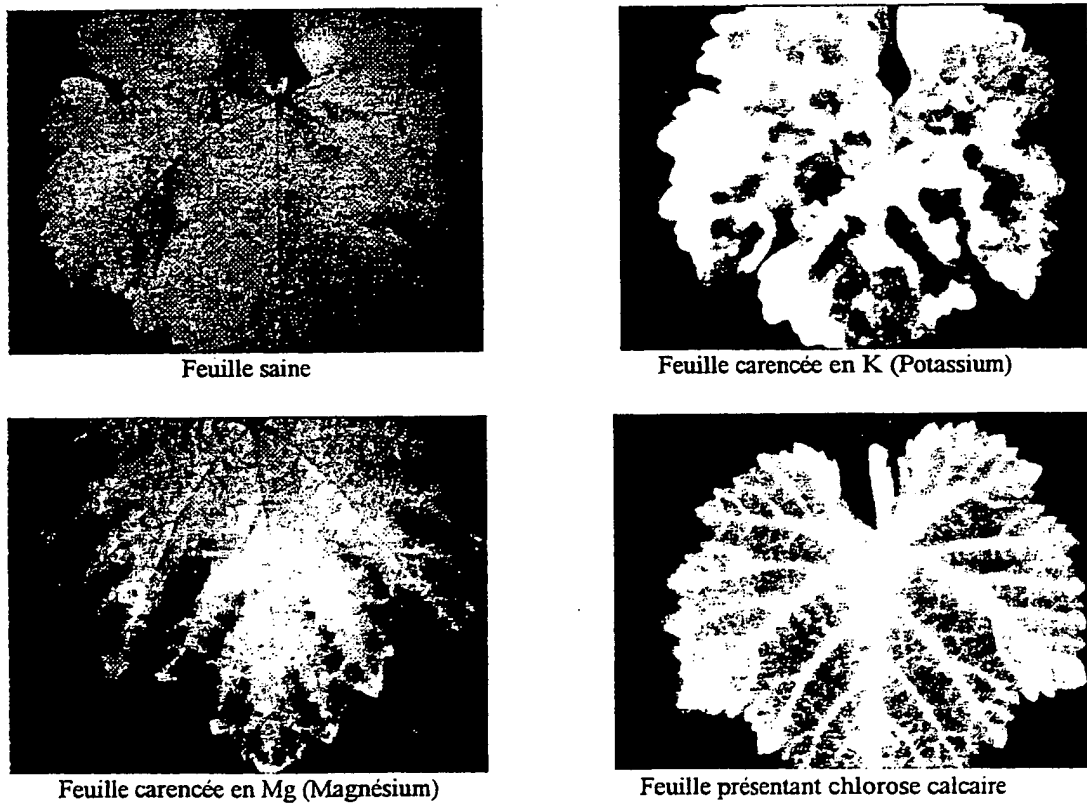


Fig. 8

FEUILLE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

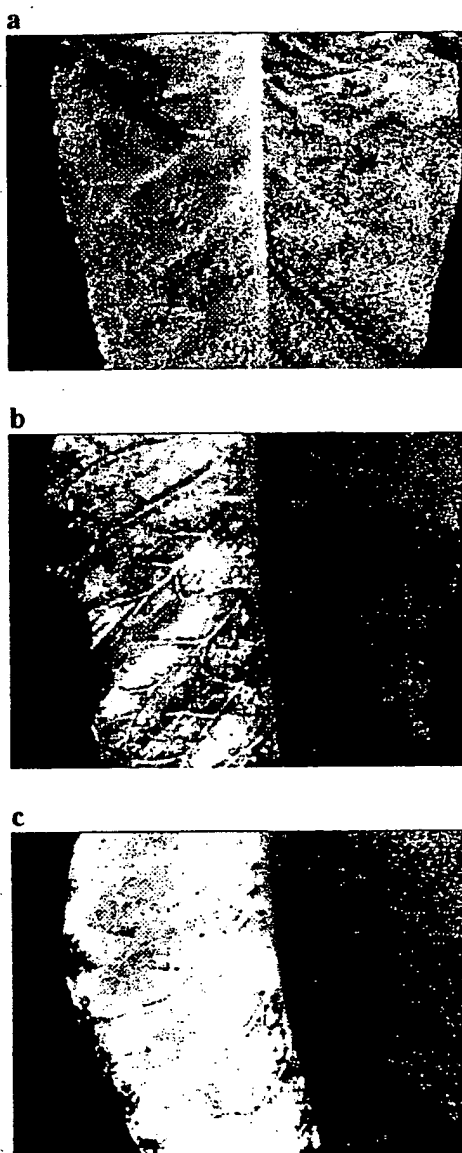


Fig. 11

9/10

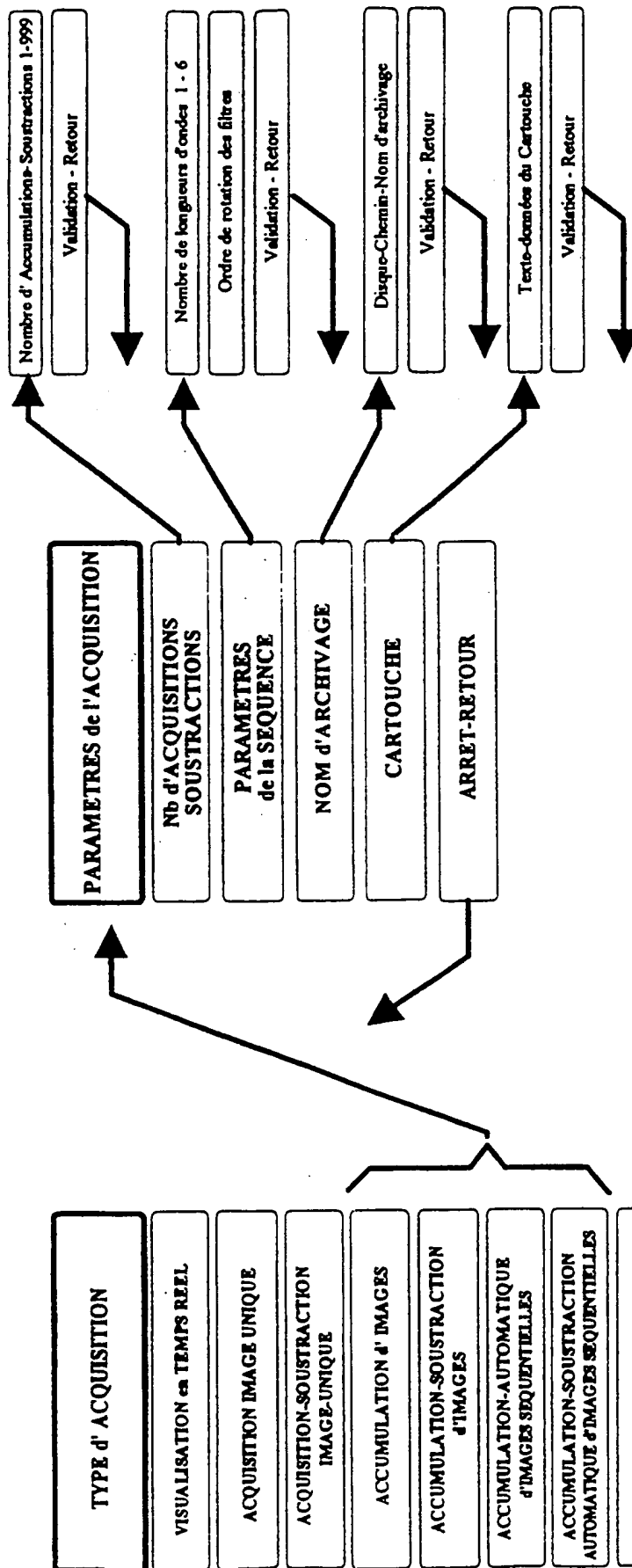


Fig. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 98/02811

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01N21/64

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	E. EDNER ET AL: "Fluorescence lidar multicolor imaging of vegetation" APPLIED OPTICS., vol. 33, no. 13, 1 May 1994, pages 2471-2479, XP000442274 NEW YORK US see abstract see page 2472, right-hand column, line 13 - page 2473, left-hand column, line 9 see page 2473, left-hand column, line 23 - line 43 see page 2473, left-hand column, line 52 - right-hand column, line 12	1,3,4
Y	see page 2475, left-hand column, line 2 - last line; figures 1-3 --- -/--	2,5-7

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 April 1999

Date of mailing of the international search report

15/04/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Thomas, R.M.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 98/02811

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5130545	A	14-07-1992	WO	9401759 A	20-01-1994
EP 0128312	A	19-12-1984	DE	3317003 A	15-11-1984

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De: Je internationale No

PCT/FR 98/02811

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 5 130 545 A (LUSSIER) 14 juillet 1992 voir colonne 1, alinéa 1 voir colonne 1, ligne 52 - ligne 55 voir colonne 2, ligne 34 - ligne 47 voir colonne 4, ligne 8 - ligne 26 voir colonne 4, ligne 34 - ligne 40 voir colonne 6, ligne 55 - ligne 58 voir colonne 7, ligne 8 - ligne 10	2
A	voir figures 1,4	9
Y	--- G. SCHMUCK ET AL : "Laser-induced time-resolved fluorescence of vegetation" IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING., vol. 29, no. 4, juillet 1991, pages 674-678, XP000258540 NEW YORK US voir page 675, colonne de gauche, dernier alinéa - colonne de droite, ligne 21; figure 1	5
Y	--- LI NING ET AL: "Imaging fluorometer to detect pathological and physiological change in plants" APPLIED SPECTROSCOPY., vol. 49, no. 10, octobre 1995, pages 1381-1389, XP000535205 BALTIMORE US voir page 1385, colonne de gauche, ligne 8 - ligne 19	6
Y	--- EP 0 128 312 A (WEGMANN) 19 décembre 1984 voir abrégé; figure 1 -----	7